



GRAHA ILMU

Eric Wibisono

LOGIKA LOGISTIK

**Teknik dan Metode Pemrograman
dalam Problem-problem Pengaturan Rute**



LOGIKA LOGISTIK

**Teknik dan Metode Pemrograman
dalam Problem-problem Pengaturan Rute**

Eric Wibisono



GRAHA ILMU

**LOGIKA LOGISTIK; Teknik dan Metode Pemrograman dalam Problem-problem
Pengaturan Rute**

oleh Eric Wibisono

Hak Cipta © 2018 pada penulis



GRAHA ILMU

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889398; Fax: 0274-889057; E-mail: info@grahailmu.co.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Tajuk Entri Utama: Wibisono, Eric

LOGIKA LOGISTIK; Teknik dan Metode Pemrograman dalam Problem-problem
Pengaturan Rute/Eric Wibisono

- Edisi Pertama. Cet. Ke-1. - Yogyakarta: Graha Ilmu, 2018
xiv + 210 hlm.; 24 cm

Bibliografi.: 27-28, 66, 115, 161-162, 200-202

ISBN : 978-602-262-809-5

E-ISBN : 978-602-262-810-1

1. Pemrograman

I. Judul

005.11

KATA PENGANTAR

Setiap kali mengajar topik "distribusi dan transportasi" pada mata kuliah yang berhubungan dengan *logistics & supply chain*, saya selalu kesulitan mencari buku teks berbahasa Indonesia bagi mahasiswa. Meskipun cukup banyak buku teks berbahasa Inggris yang dapat digunakan, referensi dengan bahasa yang lebih mudah dipahami tentu akan mempercepat proses transfer *knowledge* dari dosen ke mahasiswa. Minimnya referensi berbahasa Indonesia pada topik ini menjadi motivasi khusus bagi saya untuk menulis dan menghasilkan karya yang saat ini Anda baca.

Menulis buku bukanlah pekerjaan mudah, terlebih jika sehari-hari Anda telah disibukkan dengan berbagai tugas rutin di tempat kerja. Tetapi motivasi mengisi kekosongan pustaka pada rumpun ilmu yang saya gemari memberi saya energi dan dorongan untuk terus maju. Hari demi hari adalah halaman demi halaman yang saya tambahkan ke naskah yang saya buat. Pepatah "*a journey of a thousand miles starts with a single step*" tidak pernah senyata ini saya rasakan sebelumnya. Pada akhirnya, determinasi dan konsistensi ke luar sebagai pemenang dan edisi pertama dari buku ini telah dapat kita manfaatkan bersama.

Dunia logistik, dalam berbagai konteks dan lingkup, akan selalu bersinggungan dengan kehidupan kita. Karena itu memahami dunia ini berpotensi membantu kita dalam meningkatkan kualitas hidup. Saya berharap semua kerja keras yang sudah saya curahkan akan bermanfaat bagi dunia

akademis maupun industri yang bergerak di bidang logistik dan/atau distribusi. Bagi dunia kampus, semoga buku ini dapat menjadi pilihan referensi dalam pengajaran mata kuliah yang relevan. Soal latihan di akhir tiap bab dan kunci jawabannya saya harap dapat menjadi fitur yang bermanfaat di perkuliahan. Bagi industri logistik, semoga logika pengaturan rute yang dibahas di sini dapat menjadi modal dalam pengembangan prosedur-prosedur operasional di perusahaan.

Buku ini saya persembahkan bagi Papa, Mama, istri saya Karlina Juwita, dan kedua anak saya Beatrice dan William, yang selama ini selalu suportif pada perjalanan karir saya sebagai seorang pendidik. Secara khusus saya ucapkan terima kasih pada Prof. I Nyoman Pujawan, PhD yang bersedia memberikan testimonial sebagai referensi, serta Bapak Alex Kurniawan dari grup Toga Mas dan Bapak Jozep Edyanto dari Penerbit Graha Ilmu yang telah memfasilitasi dan membuat mimpi saya sebagai penulis terwujud.

Edisi kedua telah ada di benak saya dengan berbagai ide dan perluasan topik. Sembari menunggu edisi tersebut dipersiapkan, segala bentuk saran dan masukan untuk perbaikan dengan senang hati akan saya terima. Saya dapat dihubungi di ewibisono@gmail.com.

Surabaya, Agustus 2018

Eric Wibisono

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 LOGISTIK DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI	1
1.1 <i>Shortest Path Problem</i>	7
1.2 Beberapa Teori Dasar Penting	15
1.3 Organisasi Buku Ini	23
Kepustakaan	27
Latihan Soal	28
BAB 2 TRAVELING SALESMAN PROBLEM	33
2.1 Penyelesaian TSP dengan Enumerasi	36
2.2 Formulasi Program Linier untuk TSP	41
2.3 Model Heuristik TSP	45
2.4 Penyelesaian TSP dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	56
Kepustakaan	66
Latihan Soal	67
BAB 3 VEHICLE ROUTING PROBLEM	73
3.1 Pendekatan Enumerasi untuk VRP	78

3.2	Formulasi Programa Linier untuk VRP	81
3.3	Model Heuristik VRP	93
	Kepustakaan	115
	Latihan Soal	116
BAB 4	ALGORITME GENETIKA UNTUK VEHICLE ROUTING PROBLEM	123
4.1	Prosedur <i>Split</i>	126
4.2	<i>Operator Order Crossover</i>	140
4.3	Mutasi dengan <i>Local Search</i>	144
4.4	Manajemen Populasi dengan Mekanisme <i>Dispersal</i>	151
4.5	<i>Heterogeneous Vehicle Routing Problem</i>	155
	Kepustakaan	161
	Latihan Soal	162
BAB 5	METAHEURISTIK BERBASIS INSPIRASI ALAM	169
5.1	<i>Ant Colony Optimization</i>	170
5.2	<i>Particle Swarm Optimization</i>	189
5.3	<i>Artificial Bee Colony</i>	194
5.4	<i>Swarm Intelligence</i>	196
	Kepustakaan	200
	Latihan Soal	202
	KUNCI JAWABAN SOAL-SOAL PILIHAN	205

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Tampilan Google Maps untuk Tiga Rute Berbeda	3
Gambar 1.2	Contoh Problem Pengaturan Rute pada Kasus Distribusi	4
Gambar 1.3	Perbedaan SPP, TSP, dan VRP	8
Gambar 1.4	Ilustrasi Contoh Problem SPP	10
Gambar 1.5	Langkah 1 Algoritme Dijkstra; Iterasi 1	11
Gambar 1.6	Langkah 2 dan 3 Algoritme Dijkstra; Iterasi 1	11
Gambar 1.7	Langkah 2 dan 3 Algoritme Dijkstra; Iterasi 2	12
Gambar 1.8	Langkah 2 dan 3 Algoritme Dijkstra; Iterasi 3	12
Gambar 1.9	Langkah 2 dan 3 Algoritme Dijkstra; Iterasi 4	13
Gambar 1.10	Langkah 2 dan 3 Algoritme Dijkstra; Iterasi 5	13
Gambar 1.11	Contoh Diagram Venn dari Beberapa Himpunan	16
Gambar 1.12	Asumsi <i>Inequality</i> Terpenuhi	22
Gambar 1.13	Asumsi <i>Inequality</i> Tidak Terpenuhi	22
Gambar 2.1	Icosian Game Orisinal	35
Gambar 2.2	Satu Kemungkinan Solusi Knight's Tour dengan Beberapa Langkah Awal	35
Gambar 2.3	Contoh Problem TSP dengan 7 titik	37
Gambar 2.4	Beberapa Contoh Rute TSP dan Hasil Total Jarak dari Problem 7 Titik	38
Gambar 2.5	Contoh Solusi TSP dengan Dua <i>Sub-Tour</i>	43
Gambar 2.6	Tahapan Heuristik <i>Nearest Neighbor</i> dengan Titik Awal A dan Solusi Akhir Total Jarak 24.0	47

Gambar 2.7	Contoh Penerapan Heuristik <i>Sweep</i> pada Problem TSP 7 titik	51
Gambar 2.8	Perhitungan Sudut Antara Dua Titik Menggunakan Fungsi Arctan	52
Gambar 2.9	<i>Space-filling Curve</i> Serpentine dan Rute yang Dihasilkan	53
Gambar 2.10	<i>Space-filling Curve</i> Hilbert dan Rute yang Dihasilkan	53
Gambar 2.11	Ilustrasi Metode 2-Opt	54
Gambar 2.12	Beberapa Contoh 2-Opt pada Problem TSP 7 Titik	55
Gambar 2.13	Ilustrasi Konsep <i>Hill Climbing</i>	58
Gambar 2.14	Ilustrasi Proses Iteratif pada GA	60
Gambar 2.15	Contoh Teknik <i>Crossover</i> dan <i>Mutation</i> pada GA	61
Gambar 2.16	Teknik Mutasi dengan <i>Flip</i> , <i>Swap</i> , dan <i>Slide</i> dengan <i>Crossover</i> pada Dua Titik	65
Gambar 3.1	Pertumbuhan Jumlah Publikasi VRP antara 1954 hingga 2006	75
Gambar 3.2	Contoh VRP dengan 7 titik	78
Gambar 3.3	Beberapa Contoh Rute VRP	81
Gambar 3.4	<i>Ilustrasi Flow Balance Constraint</i>	84
Gambar 3.5	Input data pada Excel untuk <i>Set-Partitioning</i>	89
Gambar 3.6	Input Data pada <i>Solver Excel</i>	91
Gambar 3.7	Solusi Optimal dari <i>Solver Excel</i>	92
Gambar 3.8	Penerapan Heuristik <i>Nearest Neighbor</i> dan <i>Sweep</i> pada VRP	94
Gambar 3.9	Ilustrasi Konsep <i>Saving</i> dalam Algoritme CW	98
Gambar 3.10	Tahapan Pembentukan Rute Algoritme CW	102
Gambar 3.11	Hasil Penerapan Heuristik <i>Time-Oriented, Nearest Neighbor</i>	111
Gambar 3.12	Contoh Problem VRPB	112
Gambar 3.13	Solusi Problem VRPB dengan <i>Nearest Neighbor</i>	114
Gambar 3.14	Solusi Problem VRPB dengan <i>Sweep</i>	114
Gambar 4.1	Beberapa Contoh Penandaan Pemisahan Kromosom GA untuk VRP	125
Gambar 4.2	Representasi Urutan 1-2-3-4-5-6 dalam <i>Split</i>	127
Gambar 4.3	Beberapa Contoh Solusi dari Diagram Non-Siklis Urutan 1-2-3-4-5-6	128

Gambar 4.4	Diagram Non-Siklis untuk Seluruh Rute dan Solusi Optimal dari Urutan 1-2-3-4-5-6	129
Gambar 4.5	Contoh Hasil Persilangan Invalid <i>Daritwo-Point Crossover</i>	141
Gambar 4.6	Contoh Penerapan <i>Order Crossover</i>	142
Gambar 4.7	Contoh 9 Langkah mutasi <i>Local Search</i>	146
Gambar 4.8	Prosedur Mutasi dengan <i>Local Search</i>	147
Gambar 4.9	Tingkat Perencanaan pada <i>Liner Shipping</i> (Agarwal & Ergun, 2008)	156
Gambar 4.10	Diagram Non-Siklis untuk Contoh <i>Splitting</i> HVRP	158
Gambar 4.11	Hasil <i>Splitting</i> dan Interpretasi Rute	160
Gambar 5.1	Perilaku Semut dalam Mencari <i>Shortest Path</i> : (a) Awal; (b) Setelah Beberapa Saat	171
Gambar 5.2	Tampilan Window Random Number Generation pada Add-In Data Analysis	176
Gambar 5.3	Penggunaan Fungsi VLOOKUP	176
Gambar 5.4	Ilustrasi Timbunan Feromon pada Jalur TSP Setelah Semut Generasi Pertama	188

-oo0oo-

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Problem SPP dengan Informasi Matriks Jarak	14
Tabel 2.1	Data Koordinat Contoh 7 Titik TSP	37
Tabel 2.2	Data Matriks Jarak Contoh 7 Titik TSP	37
Tabel 2.3	Progresivitas Jumlah Rute TSP Berdasarkan Jumlah Titik	39
Tabel 2.4	Solusi Problem TSP 7 Titik dengan Heuristik NN dan Berbagai Titik Awal	48
Tabel 3.1	Data Matriks Jarak Contoh 7 Titik VRP	78
Tabel 3.2	Hasil Perhitungan Lengkap Matriks <i>Saving</i> untuk Contoh VRP	99
Tabel 3.3	Perbaruan Matriks <i>Saving</i> dengan Penggabungan Titik 4 dan 5	100
Tabel 3.4	Pembentukan Rute Kedua Tahap Pertama	101
Tabel 3.5	Pembentukan Rute Kedua Tahap Kedua	101
Tabel 3.6	Contoh Dua Alternatif Perhitungan	107
Tabel 3.7	Data Matriks Jarak dengan Tambahan Informasi <i>Due Date</i>	108
Tabel 3.8	Data Matriks Jarak untuk Contoh VRPB	113
Tabel 4.1	Iterasi Manual Contoh Algoritme <i>Split</i>	134
Tabel 4.2	Iterasi Manual Konversi Vektor P Menjadi Solusi Rute	138
Tabel 4.3	Contoh Problem dan Hasil Pemisahan <i>Split</i>	140
Tabel 4.4	Data Matriks Jarak untuk Contoh <i>Splitting</i> HVRP	157
Tabel 4.5	Kombinasi <i>Splitting</i> dengan 3 Kendaraan	159
Tabel 5.1	Contoh Perhitungan Probabilitas dengan <i>Roulette Wheel</i>	174
Tabel 5.2	Data Matriks Jarak dan $a_{ij}(t)$ pada $t = 0$	180

Tabel 5.3	Perbaruan Nilai $a_{ij}(0)$ dan $p_{ij}^k(0)$ Setelah Satu Titik Terpilih	180
Tabel 5.4	Perbaruan Nilai $a_{ij}(0)$ dan $p_{ij}^k(0)$ Setelah Dua Titik Terpilih	183
Tabel 5.5	Perbaruan nilai $a_{ij}(0)$ dan $p_{ij}^k(0)$ Setelah Tiga Titik Terpilih	183
Tabel 5.6	Perbaruan nilai $a_{ij}(0)$ dan $p_{ij}^k(0)$ Setelah Empat Titik Terpilih	184
Tabel 5.7	Nilai $\tau_{ij}(t)$ dan $a_{ij}(t)$ pada $t = 1$	184
Tabel 5.8	Perbaruan Nilai $a_{ij}(1)$ dan $p_{ij}^k(1)$ Setelah Satu Titik Terpilih	185
Tabel 5.9	Perbaruan Nilai $a_{ij}(1)$ dan $p_{ij}^k(1)$ Setelah Dua Titik Terpilih	185
Tabel 5.10	Perbaruan Nilai $a_{ij}(1)$ dan $p_{ij}^k(1)$ Setelah Tiga Titik Terpilih	186
Tabel 5.11	Perbaruan Nilai $a_{ij}(1)$ dan $p_{ij}^k(1)$ Setelah Empat Titik Terpilih	186
Tabel 5.12	Nilai $\tau_{ij}(t)$ dan $a_{ij}(t)$ pada $t = 2$	187

-oo0oo-

1

LOGISTIK DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, pembaca diharapkan akan mampu untuk:

1. Menjelaskan manfaat dan ruang lingkup pengaturan rute dalam logistik
2. Menentukan jarak terpendek antara dua titik (*Shortest Path Problem*) menggunakan algoritme Dijkstra
3. Mengaplikasikan teori himpunan dalam penulisan model matematis problem pengaturan rute
4. Menghitung jumlah permutasi dan kombinasi dari suatu himpunan
5. Memeriksa asumsi *triangular inequality* dari suatu jaringan pada problem pengaturan rute
6. Menyusun program komputer dengan pendekatan logika pemrograman

Adam, Boy, dan Cindy adalah tiga orang mahasiswa di sebuah perguruan tinggi swasta di Surabaya. Mereka bertiga telah lulus program sarjana dan saat ini tengah meneruskan kuliah malam di jenjang program magister. Kuliah malam mereka tempuh karena semuanya saat ini sudah bekerja. Pada suatu hari, mereka akan menghadapi ujian salah satu mata kuliah yang terbilang sulit sehingga ketiganya memutuskan untuk belajar bersama sejenak selepas jam kantor. Karena kantor mereka kebetulan berdekatan dengan sebuah pusat perbelanjaan besar, mereka memutuskan untuk bertemu di salah satu café di sana. Mengantongi ijin dari atasan masing-masing untuk pulang lebih awal, ketiganya bertemu di tempat yang telah

LOGIKA LOGISTIK

Teknik dan Metode Pemrograman dalam Problem-problem Pengaturan Rute

Buku ini sangat bagus untuk diajarkan ke mereka yang sedang mendalami persoalan optimasi terutama terkait dengan logistik/transportasi. Banyak sekali persoalan lapangan yang akan terbantu apabila diselesaikan dengan pendekatan yang diajarkan di buku ini, terutama yang terkait dengan persoalan rute perjalanan kendaraan pengangkut barang maupun penumpang serta persoalan pemindahan barang di suatu area pabrik atau gudang yang luas. Penyampaian sistematis dan menggunakan bahasa yang mudah dimengerti. Buku ini juga sangat membantu pembelajar karena disertai algoritme sehingga bisa dengan cepat diimplementasikan dalam aplikasi komputer. Para dosen akan terbantu karena ada contoh-contoh soal yang disediakan di setiap akhir bab. Saya merekomendasikan para mahasiswa maupun pengajar untuk menggunakan buku ini.

Prof. I Nyoman Pujawan, Ph.D., CSCP



Eric Wibisono, Ph.D., memperoleh gelar Sarjana Teknik di bidang teknik industri dari Universitas Surabaya. Ia kemudian meneruskan pendidikan magisternya di University of South Australia, Adelaide, di bidang *manufacturing management*. Setelah berhasil memperoleh beasiswa SUT-PhD Scholarship for ASEAN, ia menyelesaikan pendidikan doktoralnya di bidang teknik industri pada Suranaree University of Technology, Thailand. Kecintaannya pada rumpun keilmuan *vehicle routing problem*, khususnya penyelesaiannya dengan pendekatan metaheuristik, tumbuh dari hasil risetnya selama pendidikan doktorat. Saat ini, Eric Wibisono adalah tenaga akademik di Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya. Selain mengajar dan meneliti, ia juga menjadi *international reviewer* dari *Int. J. of Logistics and Systems Management* dan jurnal Q1 dari Elsevier, *Computers and Industrial Engineering*. Buku ini adalah buku pertamanya.



GRAHA ILMU

ISBN: 978-602-262-809-5

